

Lecciones Aprendidas



De los participantes de Natural Gas STAR

REDUCCIÓN DE EMISIONES AL SACAR DE SERVICIO LOS COMPRESORES (Reducing Emissions when Taking Compressors Off-Line)

Resumen gerencial

Los compresores se usan a lo largo del sistema de gas natural para movilizar el gas natural desde los lugares de producción y procesamiento a los sistemas de distribución a los consumidores. Cuando se sacan de servicio los compresores, el metano puede fugarse por una variedad de fuentes, en una cantidad que depende de la presurización del sistema. En un sistema despresurizado, las emisiones de metano son causadas por la “purga” o ventilación del gas a alta presión que queda en el compresor y de fugas continuas de las válvulas de aislamiento de la unidad. En un sistema completamente presurizado, el metano puede fugarse por la válvula de purga y la empaquetadura del vástago del compresor.

Los participantes de Natural Gas STAR han descubierto que unos cambios sencillos en las prácticas de operación pueden ahorrar dinero y reducir significativamente las emisiones de metano. Mantener presurizados los compresores cuando se sacan de servicio por razones operativas logra un pago inmediato de la inversión; no existen costos de capital y las emisiones se reducen al evitar el “purgado”. Dos opciones adicionales reducen aún más las emisiones de metano. Conectar las líneas de ventilación de purga al sistema de gas combustible permite la ventilación normal del gas que se usará mientras el compresor está fuera de servicio. Puede instalarse un sello estático en los vástagos del compresor presurizado para eliminar las fugas de la empaquetadura de los vástagos durante la interrupción. Los beneficios de estas prácticas incluyen menos liberaciones de gas en mayoreo, tasas menores de fugas y costos menores de combustible, con un plazo de recuperación de la inversión en la mayoría de los casos de menos de un año.

Medida (Reducción de las emisiones del compresor por:)	Volumen neto del gas ahorrado (Mcf/año)	Valor neto del gas ahorrado (\$/año) ²	Costo de implementación (\$)	Plazo de recuperación de la inversión ³
Opción 1: Mantenerse presurizado	4,400	13,200	0	Inmediatamente
Opción 2: Mantenerse presurizado y dirigir el gas para combustible	+1,345 ¹	+4,035 ¹	1,250	4 meses
Opción 3: Mantenerse presurizado e instalando un sello estático	+1,200 ¹	+3,600 ¹	3,000	10 meses

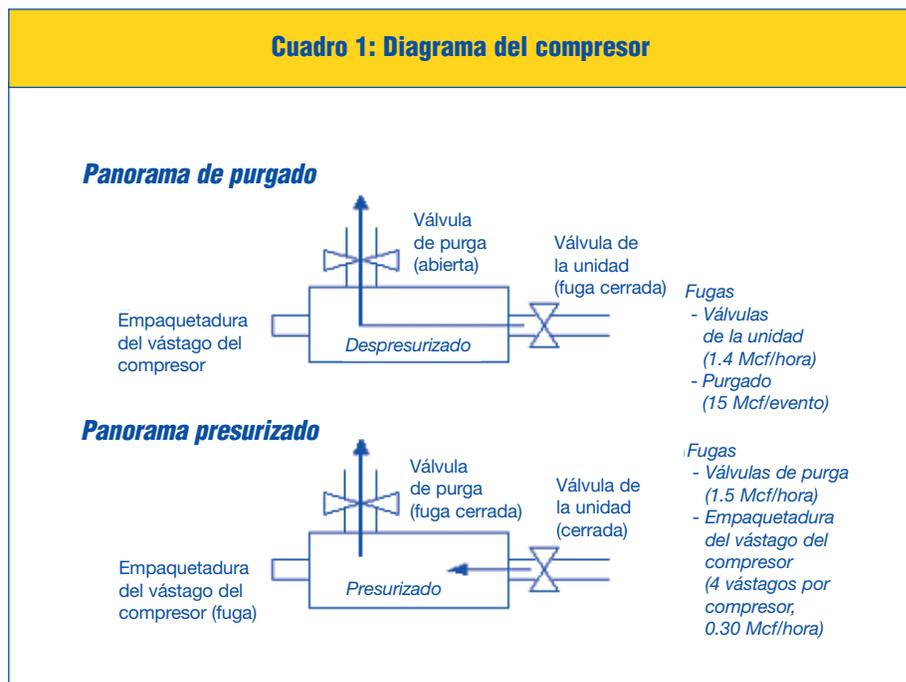
¹ Incremental sobre la base
² Valor del gas = \$3.00/Mcf.
³ Tasa de descuento de 10 por ciento

Esta publicación es una de la serie de resúmenes de Lecciones Aprendidas preparados por EPA en colaboración con la industria de gas natural que tratan acerca de las aplicaciones superiores del Programa de Mejores Prácticas Administrativas (BMP, por sus siglas en inglés) de Natural Gas STAR y Oportunidades Identificadas por los participantes (PRO, por sus siglas en inglés).

Antecedentes tecnológicos

Los compresores usados a lo largo del sistema de gas natural se ciclan para entrar y salir de servicio en la línea para cumplir con la demanda fluctuante de gas. El mantenimiento y las emergencias son otras ocasiones en las cuales los compresores se sacan de servicio. La práctica estándar es “purgar” o ventilar el gas a alta presión que queda en el compresor cuando se saca de servicio. Aunque el compresor se purga, las fugas continúan en las válvulas de aislamiento de la unidad. Cuando el compresor está completamente presurizado, el metano puede fugarse por la válvula de purga cerrada y la empaquetadura del vástago del compresor (vea el Cuadro 1).

Cuadro 1: Diagrama del compresor



El número de veces que el compresor se purga para fines operativos depende de su modalidad de operación. Algunos compresores tienen carga base, lo que significa que pueden operar la mayoría del tiempo, y pueden purgarse solamente tres veces al año. El tiempo fuera de servicio de estos compresores es un promedio de 500 horas al año. Otros compresores funcionan en servicio de carga máxima, entrando en servicio conforme aumenta la demanda y se requieren presiones más altas de tubería, y sale de servicio cuando la demanda del mercado baja. Estos compresores pueden estar fuera de servicio un promedio de 40 veces al año, por aproximadamente 4,000 horas.

La proporción de los compresores con carga base a los compresores de carga máxima varía ampliamente entre las compañías de tuberías por las estrategias distintas de operación, la configuración de los sistemas y los mercados. En algunas tuberías, el 40 por ciento de los compresores pueden ser de carga base; en otros, el 75 por ciento pueden operar en modalidad de carga base.

La fuente más grande de emisiones de metano relacionadas con sacar de servicio compresores es del purgado o ventilado del gas que queda en el compresor (por ejemplo, la despresurización del programa). En promedio, un solo purgado causará la liberación de aproximadamente 15 Mcf de gas a la atmósfera.

Las válvulas de aislamiento son otra fuente de emisiones de metano de los compresores que están fuera de servicio. Estas válvulas grandes aíslan el compresor de la tubería y pueden fugar cantidades importantes de metano entre la tubería de presión alta y la presión atmosférica. Una tasa típica de fuga en las unidades es 1,400 scf por hora (scfh). Aunque las válvulas de la unidad reciben mantenimiento periódicamente para reducir fugas, su poca accesibilidad causa mayores fugas entre las fechas de mantenimiento programado.

Otras fuentes de emisiones en los compresores fuera de servicio son las empaquetaduras de los vástagos del compresor y las válvulas de purga. Los sellos de los vástagos de los pistones del compresor tendrán fugas durante las operaciones normales, pero estas fugas aumentan aproximadamente cuatro veces (a cerca de 75 scfh por vástago, o 300 scfh en un compresor de cuatro cilindros) cuando el compresor está parado y completamente presurizado, es decir, sin purgar. Las fugas ocurren a través de espacios entre los anillos de los sellos y su ranuras de apoyo, las cuales están cerradas por el movimiento dinámico del vástago del pistón y el aceite lubricante (vea las *Lecciones Aprendidas de EPA: Reducción de Emisiones de Metano de los Sistemas de la Empaquetadura del vástago de Compresor*). Las válvulas de purgado también tienen fugas de los sistemas presurizados a una tasa típica de 150 scfh.

Los participantes de Natural Gas STAR han reducido significativamente las emisiones de metano de los compresores fuera de servicio por razones operativas aplicando una o más de las siguientes tres medidas:

1. Mantener presurizado el compresor. Evitar las emisiones al purgar el compresor manteniéndolo completamente presurizado. Esto reducirá sustancialmente la tasa de fuga de 1,400 scfh en la válvula de la unidad a aproximadamente 450 scfh de la válvula de purga y la empaquetadura del vástago. Al no requerirse modificaciones de las instalaciones, ésta es la mejor manera para todos los compresores siempre que sea posible.

2. Mantener presurizado y dirigir el gas para combustible. Conectar las líneas de ventilación de purga al sistema de gas combustible permite la ventilación normal del gas que se usará mientras el compresor está fuera de servicio. Una vez que la presión entre el sistema combustible y el compresor se iguale, el compresor “flota” a la presión de gas combustible (típicamente 100 a 150 libras por pulgada cuadrada (psi)). Las fugas de la empaquetadura del compresor y la ventila de purga se reducen a aproximadamente 125 scfh. Las fugas a lo largo de las válvulas de la unidad en el compresor continúan alimentando el sistema combustible a través de la conexión de la ventila.

3. Mantener la presurización e instalar un sello estático. Un sello estático en los vástagos del compresor elimina las fugas de la empaquetadura de vástagos durante la interrupción cuando el compresor se mantiene presurizado. Un sello estático se instala en cada eje de vástago fuera de la empaquetadura convencional. Un controlador automático se activa cuando el compresor está fuera de servicio para meter un sello ajustado alrededor del eje; el controlador desactiva el sello en el arranque. Las fugas ocurren solamente de la válvula de purga a aproximadamente 150 scfh cuando está a presión del sistema.

Proceso de decisión

Beneficios económicos y para el medio ambiente

Los participantes de Natural Gas STAR pueden lograr beneficios importantes económicos y ambientales al tomar pasos sencillos para evitar el purgado, o la despresurización de los compresores fuera de servicio siempre que sea posible:

- ★ **Menos liberaciones de gas en grandes cantidades:** Al no despresurizar los compresores fuera de servicio, los operadores pueden ahorrar 15 Mcf cada vez que el compresor se saque de servicio. Suponiendo que las unidades con carga base se purguen tres veces al año y las unidades óptimas 40 veces, podrán ahorrarse entre 45 Mcf y 660 Mcf al año.
- ★ **Tasas menores de fuga:** Mantener los compresores completamente presurizados evita fugas importantes a través de las válvulas de la unidad de 475 Mcf al año para las unidades de carga base y 3,800 Mcf al año para las unidades de carga máxima.
- ★ **Costos más bajos de combustible:** Dirigir el gas al compresor para el sistema de combustible usa el gas combustible que de otra manera se habría ventilado de los compresores, por lo tanto reduciendo el costo de combustible.

Los operadores pueden con facilidad y económicamente reducir las emisiones de metano de los compresores fuera de servicio siguiendo los cuatro pasos a continuación:

Paso 1: Identificación de alternativas al purgado. Las tres opciones, descritas en la sección Antecedentes Tecnológicos, están disponibles cuando se sacan de servicio los compresores por razones operativas:

- ★ **Opción 1, mantener el compresor presurizado**
- ★ **Opción 2, mantener el compresor presurizado y dirigir el gas para combustible**
- ★ **Opción 3, mantener el compresor presurizado e instalar un sello estático**

La mejor opción para todos los compresores es simplemente evitar despresurizarlos cuando sea posible. Las Opciones 2 y 3 ofrecen ahorros adicionales de gas cuando se usan en conjunto con la Opción 1. La Opción 2 puede usarse cuando se sacan de servicio los compresores para darles mantenimiento o por razones de emergencia; purgar el gas del compresor al sistema de combustible antes de purgar el compresor puede reducir las emisiones y ahorrar dinero.

Paso 2: Cálculo de la cantidad y el valor de las emisiones de metano. El total de las emisiones de metano de los compresores que se sacan de servicio y se purgan es la suma de las pérdidas de la ventilación del compresor y las pérdidas a través de las válvulas de la unidad por el período de tiempo que el compresor esté despresurizado. El aporte clave para calcular las pérdidas totales por compresor al año incluyen:

- ★ El número de purgados al año (B).

- ★ El volumen del compresor presurizado entre las válvulas de aislamiento de la unidad (V). El volumen del gas ventilado por purgado depende del volumen de la cavidad del compresor, la tubería entre las válvulas de aislamiento y la presión. Usando la Ley de Henry (el volumen es inversamente proporcional a la presión o $P_1V_1 = P_2V_2$) esto puede calcularse directamente. (El valor predeterminado de EPA es 15 Mcf por purgado.)
- ★ La duración de los períodos fuera de servicio (T).
- ★ La tasa de fugas en las válvulas de la unidad (U). Las fugas de las válvulas de la unidad pueden medirse en la ventila de purgado usando dispositivos manuales de medición. Las tasas de fuga generalmente aumentan a partir del último mantenimiento de las válvulas. En este análisis se usa un valor predeterminado de 1,400 scfh.

Las emisiones totales (TE) se calculan así: $TE = BV + TU$. El valor total (TV) o costo de estas emisiones es TE veces el precio (P) del gas o $TV = TE \times P$.

La mayoría de esta información está fácilmente accesible en los registros de operación y las especificaciones de la placa de datos, o puede calcularse. El Cuadro 2 presenta dos cálculos de muestra de pérdidas, una para un compresor con carga base y otra para uno de carga máxima.

Cuadro 2: Cálculos de muestra		
Supuestos:	Carga base	Carga máxima
Núm. de purgados al año	3	40
Volumen de gas comprimido (scf)	15,000	15,000
Horas fuera de servicio al año	500	4,000
Tasa de fugas de válvula de la unidad (scfh)	1,400	1,400
Muestra 1: Compresor con carga base		
Emisiones totales	= (3 x 15 Mcf) + (500 horas x 1.4 Mcf/h) = 745 Mcf/año	
Valor total	= 745 Mcf/año x \$3.00/Mcf = \$2,235 al año	
Muestra 2: Compresor de carga máxima		
Emisiones totales	= (40 x 15 Mcf) + (4,000 horas x 1.4 Mcf/h) = 6,200 Mcf/año	
Valor total	= 6,200 Mcf/año x \$3.00/Mcf = \$18,600 al año	

Paso 3: Cálculo del costo de cada alternativa. El costo de cada alternativa incluye la inversión de capital, los costos incrementales de operación y mantenimiento y la tasa de fugas fuera de servicio relacionadas con la opción. El costo de cada opción se resume a continuación.

- ★ **Opción 1, mantener el compresor completamente presurizado.** Esta opción no tiene capital ni costos de operación y mantenimiento. Cuando se instituye, las fugas ocurren en la empaquetadura del vástago del compresor (300 scfh por compresor) y la válvula de purga (150 scfh), con un total aproximado de 450 scfh cuando el compresor está completamente presurizado.
- ★ **Opción 2, mantener presurizado y conectar el compresor al sistema de gas combustible.** Esta opción implica añadir tubería y válvulas para purgar gas de un compresor parado dentro del sistema de gas combustible de la estación del compresor. El costo de modificación de las instalaciones fluctúan entre \$900 y \$1,600 por compresor. Determinantes importantes del costo son el tamaño del compresor, el número de accesorios, las válvulas y los apoyos, el tamaño, la longitud de tubería y si se instala un analizador automático. Una vez que la presión del compresor se equilibre con la presión de la línea de combustible, las fugas de la empaquetadura del vástago del compresor bajan a 50 scfh aproximadamente y las de la válvula de purga a 75 scfh aproximadamente, dando un total de 125 scfh.
- ★ **Opción 3, mantenerlo presurizado e instalar un sello estático positivo en los vástagos del compresor.** Aunque es técnicamente posible y compatible con cualquiera de las dos, la Opción 3 no es económica cuando se usa en conjunto con la Opción 2 (debido a que las tasas de fuga son bastante menores cuando se ahoga el compresor a presiones de línea de combustible menores). El costo de los sellos estáticos es aproximadamente \$500 por vástago, más \$1,000 por un controlador automático de activación para el compresor entero, por un total de \$3,000 por compresor de cuatro vástagos. Con las fugas de la empaquetadura de los vástagos del compresor prácticamente eliminadas, la única fuga restante es de las válvulas de purgado, aproximadamente 150 scfh.

El Cuadro 3 muestra el costo relacionado con estas opciones. Las fugas fuera de servicio son la suma de las fugas de la empaquetadura del vástago del compresor y la válvula de purgado, anualizadas usando la duración de horas fuera de servicio en el Cuadro 2.

Paso 4: Análisis de los aspectos económicos. Una vez que se calculan la cantidad y el valor de las emisiones de metano y el costo de cada alternativa, debe realizarse el análisis económico. Una manera sencilla de evaluar los aspectos económicos es mediante un análisis de flujo de caja, en el cual el costo del primer año de cada opción se compara con el valor descontado de la cantidad neta de gas ahorrado.

Cuadro 3: Costo de capital y tasas de fuga de las alternativas			
	Opción 1 mantenerlo presurizado	Opción 2 mantenerlo presurizado y enlazado al gas combustible	Opción 3 mantenerlo presurizado e instalar un sello estático
Capital	Ninguno	\$1,250/compresor	\$3,000/compresor
Fugas fuera de servicio			
Carga base	225 Mcf/año \$675	63 Mcf/año \$189	75 Mcf/año \$225
Carga máxima	1,800 Mcf/año \$5,400	500 Mcf/año \$1,500	600 Mcf/año \$1,800
Nota: El panorama con la carga base supone que el compresor está fuera de servicio 500 horas/año; el panorama de carga máxima supone que el compresor está fuera de servicio 4,000 horas/año. Costo del gas = \$3.00/Mcf.			

Para la Opción 1, los ahorros son la diferencia entre la cantidad de emisiones de metano (que se calculan en el Cuadro 2) y las fugas fuera de servicio que ocurren cuando el compresor se mantiene completamente presurizado (que se calculan en el Cuadro 3). Los ahorros de las Opciones 2 y 3 se derivan al reducir más las fugas netas de gas en la Opción 1 haciendo cambios a las instalaciones.

El Cuadro 4 presenta los ahorros calculados en la Opción 1 y los ahorros incrementales de establecer las Opciones 2 y 3 además de la Opción 1. La Opción 1 demuestra una recuperación inmediata de la inversión al no requerir ninguna inversión. En la Opción 3, los ahorros incrementales en una modalidad de carga base no recuperan la inversión para las instalaciones en un período de cinco años. Aun más, los ahorros incrementales de instalar los sellos de los vástagos de pistón además del enlace del sistema al gas combustible (Opción 2) no son atractivos económicamente para la modalidad de carga base ni para la de carga máxima.

Cuadro 4: Comparación económica de las opciones

	Opción 1 mantenerse presurizado		Opción 2 mantenerlo presurizado y enlazado al gas combustible		Opción 3 mantenerlo presurizado e instalar un sello estático	
	Base	Óptima	Base	Óptima	Base	Óptima
Ahorros netos de gas (Mcf/año)	520	4,400	+207	+1,345	+150	+1,200
Ahorros de dólares/año ¹	\$1,560	\$13,200	\$621	\$4,035	\$450	\$3,600
Inversión de las instalaciones	0	0	\$1,250	\$1,250	\$3,000	\$3,000
Plazo de recuperación de la inversión ²	Inmediato	Inmediato	3 años	4 meses	Ninguno	10 meses
IRR ³	>100%	>100%	41%	323%	Negativo	118%

¹ Valor supuesto del gas de \$3.00/Mcf.
² Vida de 5 años y tasa de descuento del 10 por ciento
³ Vida de 5 años (sin incluir los costos anuales de operación y mantenimiento)

Consejos de implementación

A continuación se encuentra una lista de consejos que los participantes de Natural Gas STAR usan para evaluar las opciones y reducir las emisiones de los compresores fuera de servicio:

- ★ Los operadores generalmente realizan servicios de mantenimiento de la estación entera cada 12 a 18 meses, dando reparación general a las válvulas aisladoras de la unidad y haciendo las modificaciones principales como los enlaces de gas combustible. Para el final del ciclo operativo entre servicios de mantenimiento, las válvulas de la unidad, las válvulas de purgado y las empaquetaduras de los vástagos de compresores muy probablemente sufren tasas máximas de fugas.
- ★ La seguridad puede convertirse en un problema cuando mantener la presión del gas en los compresores parados causa un aumento en las fugas de la empaquetadura de los vástagos. Instalar un sello estático en los vástagos del compresor elimina estas fugas.
- ★ La despresurización de los compresores fuera de servicio para gas combustible es eficaz solamente cuando existe suficiente demanda de combustible para consumir el gas a la tasa de la fuga de la válvula de aislamiento de la unidad (calculada en 1.4 Mcf/h).
- ★ Mantener ajustadas las válvulas de aislamiento de la unidad. El sellado ajustado de las válvulas de aislamiento de la unidad eliminará el 90 por ciento de las emisiones anuales de las prácticas típicas fuera de servicio y de purgado. Sin embargo, las reparaciones son costosas en términos de materiales de válvulas y mano de obra y emisiones de sacar de servicio y despresurizar la estación entera para tener acceso a esas válvulas.

Estudio de un caso: Experiencia de un participante

Con el interés creciente del aumento de ahorros y la reducción de las fugas de gas, la Compañía A investigó varias prácticas para ayudar a reducir las fugas de la empaquetadura de los vástagos del compresor. Durante el período cuando los compresores se sacan de servicio, la compañía enlazó el compresor al sistema de gas combustible. A esta presión más baja del cilindro compresor, los casos de fuga a través de la empaquetadura de los vástagos y las válvulas de purgado se redujo considerablemente. En 3,022 cilindros compresores (un total de 577 unidades compresoras) operando el 40 por ciento del tiempo, el total de los ahorros de gas llegó a 1.58 mil millones de pies cúbicos al año.

Lecciones aprendidas

Los participantes descubrirán que se obtendrán reducciones importantes de emisiones y ahorros de costo al evitar el purgado de rutina de los compresores, y en donde corresponda, la eliminación o redirección de la fuga. Los ahorros se acumulan al retener producto o el desplazamiento a gas combustible. Las principales lecciones aprendidas de los participantes de Natural Gas STAR son:

- ★ Evitar despresurizarlos siempre que sea posible. Pueden obtenerse grandes ahorros inmediatos sin costo alguno manteniendo presurizados los compresores que estén fuera de servicio.
- ★ Debe educarse al personal de campo sobre los beneficios de evitar el purgado.
- ★ Identificar el horario en que se sacarán de servicio los compresores para determinar si funcionan con carga base o carga máxima. Usar esta información para realizar un análisis económico de las Opciones 2 y 3.
- ★ Preparar un horario para adaptar los compresores con sistemas dirigidos con gas combustible instalando un sello estático a los vástagos del compresor, en donde se justifique económicamente.
- ★ Registrar las reducciones de cada compresor.
- ★ Las reducciones de emisiones de metano deben incluirse en los informes anuales presentados como parte del Programa Natural Gas STAR.

Nota: La información de costo provista en este documento se basa en cálculos para Estados Unidos. Los costos de equipo, mano de obra y el valor del gas variarán dependiendo del lugar, y podrían ser mayores o menores que en los Estados Unidos. La información sobre costo presentada en este documento solamente debe usarse como guía al determinar si las tecnologías y las prácticas son convenientes económicamente para sus operaciones.

Referencias

Borders, Robert S. C. Lee Cook, contacto personal.

Campbell, Alastair J. Bently Nevada Corporation, Houston, Texas. *Optical Alignment of Reciprocating Compressors*.

“Compressor Shutdown Leakage.” *Pipeline & Gas Journal*, diciembre de 1985.

France Compressor Products. *Mechanical Packing - Design and Theory of Operation*, Bulletin 691.

Maholic, James. France Compressor Products, contacto personal.

Minotti, Marcello. ENRON, contacto personal.



Agencia de Protección del Medio
Ambiente de los Estados Unidos
Aire y Radiación (6202J)
1200 Pennsylvania Ave., NW
Washington, DC 20460

EPA430-B-04-001S
Febrero de 2004